

文章编号: 1001-6112(2006)06-0518-05

鄂尔多斯盆地苏里格地区 奥陶系古岩溶储层成岩作用

王宝清¹, 章贵松²

(1. 西安石油大学 油气资源学院, 西安 710065;

2. 中国石油天然气股份有限公司 长庆油田分公司 勘探开发研究院, 西安 710021)

摘要:鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶纪主要沉积环境为水下凸起—隆间洼地和(内)陆棚盆地。奥陶系由原始沉积的碳酸盐岩和岩溶角砾岩组成。溶蚀孔是最主要的孔隙类型, 裂缝是重要的储集空间; 孔隙度为 0.02%~16.70%, 平均为 2.19%; 渗透率为 $(0.0014\sim706.35)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$, 平均为 $1.90\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。奥陶系碳酸盐沉积物(岩)经历的成岩作用有压实、白云石化、胶结、交代、溶蚀和去白云石化作用。全岩白云石样品较低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和较高的 Mn, Fe 含量以及明显低的 Sr 含量说明白云石受到淡水淋滤和埋藏作用的影响, 不低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值说明碳来自原始沉积物中的 CaCO_3 。白云石胶结物较全岩白云石具有较低的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 说明白云石胶结物形成于裸露期的风化壳岩溶作用阶段。岩石经历了早期成岩作用、表生成岩作用和晚期成岩作用。低孔、低渗是该储层的特点, 原因是岩溶作用强度不够和埋藏较深。

关键词:成岩作用; 古岩溶; 奥陶系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

存在长期沉积间断的不整合面之下的碳酸盐岩往往能形成古岩溶, 古岩溶中溶蚀孔、洞、缝发育, 总是较原生碳酸盐岩具有较好的储集性能, 并能形成油气藏^[1,2]。鄂尔多斯盆地中部气田的主力气层奥陶系马家沟组就是由受到岩溶作用改造的碳酸盐岩组成的。苏里格地区与中部气田一样, 也位于鄂尔多斯盆地。研究苏里格地区奥陶系的岩石学特征和岩溶作用对储集空间演化的影响, 对沉积学理论以及鄂尔多斯盆地天然气勘探实践均有重要意义。本文论述的奥陶系指中奥陶统马家沟组。

1 地质背景和沉积环境

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部。苏里格地区位于鄂尔多斯盆地的中北部、中央古隆起东北侧, 区域构造上属伊陕斜坡北部中带, 其基底为太古界和元古界结晶变质岩系。

中奥陶统马家沟组沉积时期苏里格地区为水下凸起—隆间洼地和(内)陆棚盆地。水下凸起—隆间洼地环境处于波浪作用带时, 水下凸起上形成生物屑砂屑(砾屑)白云岩或石灰岩浅滩沉积组合, 能量减弱时形成细晶—粉晶白云岩; 洼地中主要形成含生物、砂屑的白云岩、石灰岩。(内)陆棚盆地亚环境处于干热气候及低海平面时发育硬石

膏岩; 反之则主要发育白云岩—石灰岩^[3]。

2 岩石学特征

马家沟组岩石主要由碳酸盐岩组成, 夹有少量硬石膏和硅质岩。碳酸盐岩包括原始沉积的碳酸盐岩和岩溶作用改造的碳酸盐岩(图 1), 后者即岩溶角砾岩。其中以白云岩最多, 石灰岩(包括次生石灰岩)较少; 岩溶角砾岩较白云岩少, 但较石灰岩多, 且分布普遍, 成因意义重大。

白云岩以灰色、浅灰色为主, 也有褐灰、深灰、黑灰色。几乎所有的白云岩都含有一定量的泥质, 泥质含量一般为 3%~10%, 少数可达 20%。部分白云岩中有陆源石英和云母, 其含量分别小于 5%。自生石英和黄铁矿常见, 但一般小于 2%~3%。不同程度的去白云石化在白云岩中常见, 强烈去白云石化时形成次生灰岩。大部分为晶粒结构, 少数具有颗粒结构。晶粒结构为半自形—他形嵌晶结构; 以泥晶、粉晶和细晶为主, 有很少量的中晶, 不等晶白云岩也常见(图 1E—J)。一些白云石晶粒具有雾心亮边结构(图 1E, F, H)。

岩溶角砾岩十分常见, 几乎每一口井都能见到, 是识别岩溶的重要标志之一。按其成因, 可以分为 3 类, 即裂缝角砾岩(Crackle Breccia)、紊乱角砾岩(Chaotic Breccia)(图 1A—D)和洞穴沉积物

收稿日期: 2006-01-25; 修订日期: 2006-10-10。

作者简介: 王宝清(1943—), 男(汉族), 四川乐山人, 教授, 主要从事沉积学与石油地质学教学与研究工作。

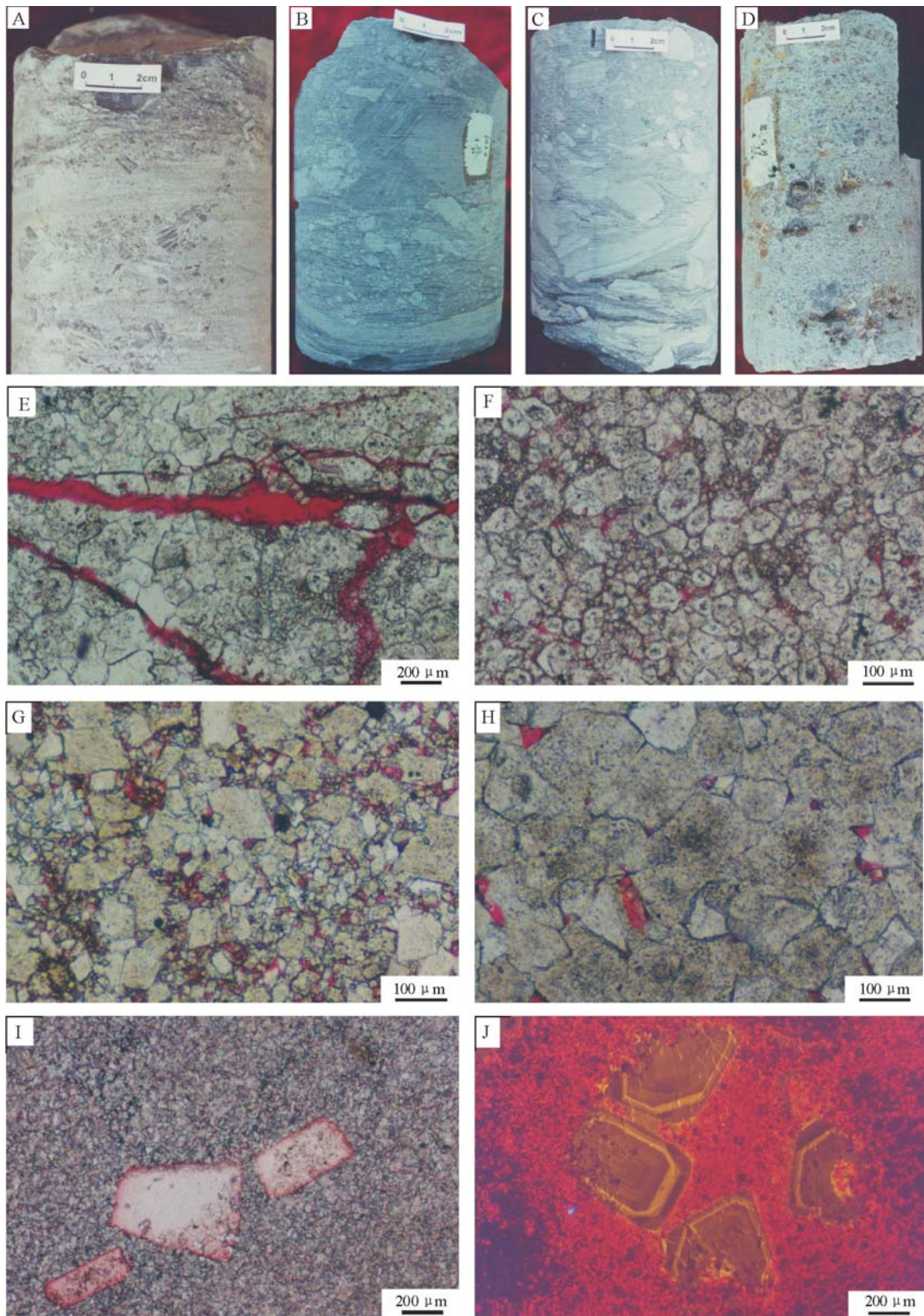


图 1 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系各类岩石的岩心、薄片照片

A. 白云质紊乱(岩溶)角砾岩,基质支撑。岩心照片,桃 6 井;B. 白云质紊乱(岩溶)角砾岩,基质支撑。岩心照片,桃 4 井;C. 白云质紊乱(岩溶)角砾岩,基质支撑。岩心照片,桃 4 井;D. 白云质紊乱(岩溶)角砾岩,溶孔发育,溶孔被细晶白云石部分充填。苏 5 井;E. 不等晶白云岩中的晶间溶蚀孔和溶蚀缝,缝有晶间缝和非组构选择性溶蚀缝。铸体薄片,单偏光镜下照片,陕 51 井;F. 不等晶白云岩,白云石为半自形,部分具有雾心亮边结构,有粒间溶蚀孔,少量粒内溶蚀孔。铸体薄片,单偏光镜下照片,陕 51 井;G. 不等晶白云岩,白云石半自形—自形,晶间孔发育,约有一半的晶间孔被方解石充填。铸体薄片,单偏光镜下照片,陕 56 井;H. 细晶白云岩,白云石为半自形,有少量晶间孔。少数白云石有雾心亮边结构。铸体薄片,单偏光镜下照片,陕 56 井;I. 不等晶白云岩,半自形嵌晶结构,晶间孔被方解石半充填,有硅化。具有板状石膏假晶,石膏假晶中的白云石有去白云石化现象。茜素红染色薄片,单偏光镜下照片,陕 51 井;J. 泥晶白云岩中有 3 个溶孔,溶孔中充填的方解石发橙红—橙黄色光,基质中的白云石发红或暗红色光。阴极发光显微镜照片,桃 2 井

Fig. 1 Photographs of drilling cores and thin sections of Ordovician rocks in the Sulige area, the Ordos Basin

充填(Cave-Sediment Fill)。裂缝角砾岩和紊乱角砾岩之间有一种过渡类型的岩溶角砾岩,即镶嵌状角砾岩(Mosac Breccia)^[4,5]。

3 储集特征

马家沟组碳酸盐岩的孔隙有晶间孔(图 1E—H)、粒间孔、粒内孔、铸模孔、溶蚀孔、砾石间孔、鸟眼孔和裂缝(图 1E)。晶间孔、粒间孔和粒内孔属于原生孔隙,其余属次生孔隙,溶蚀孔是最主要的孔隙类型。裂缝也是重要的储集空间。

根据 22 口井 2 029 个样品分析结果,孔隙度为 0.02%~16.70%,平均为 2.19%;根据 1 843 个样品分析结果,渗透率为 $(0.0014 \sim 706.35) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $1.90 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以低孔、低渗和强非均质性为特征。

4 成岩作用

马家沟组碳酸盐沉积物(岩)经历的成岩作用有压实作用、白云石化作用、胶结作用、交代作用、溶蚀作用和去白云石化作用。

4.1 压实作用

压实作用最直观的现象是各种碳酸盐颗粒(内碎屑、鲕粒和生物碎屑)的压扁、拉长、扭曲、变形、压碎。

现代碳酸盐的初始孔隙度很高,但变化也很大(40%~78%)^[6]。马家沟组碳酸盐岩现在的孔隙度一般<10%,除去溶蚀作用形成的孔隙,碳酸盐岩的孔隙度一般<5%;充填于晶间孔或粒间孔的胶结物一般<10%,最高也不超过 20%。原始孔隙度大量的减少主要是由压实作用造成的。

4.2 白云石化作用

现在看到的白云岩都是白云石化的结果。大部分白云石化发生在准同生期和早成岩作用阶段,这些白云石以半自形或他形泥晶结构为主,少数为细晶。少部分充填于溶蚀孔缝中的自形的、晶体粗大的白云石和铁白云石形成于晚成岩作用阶段,该阶段处于强还原环境,形成的白云石无阴极发光或发光很暗。

根据取自 3 353.30~4 300.05 m 的全岩白云石样品分析, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值在 $-10.98\text{‰} \sim -5.85\text{‰}$ 范围内,平均 -7.34‰ ; $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值在 $-2.04\text{‰} \sim -1.37\text{‰}$ 范围内,平均 0.57‰ (图 2)。

不同沉积环境和不同地质时代的碳酸盐同位素值有所差异,并且在成岩作用过程中会有所变化。一般来说,海相碳酸盐较淡水碳酸盐有较高的

$\delta^{18}\text{O}$ 值,随着埋藏加深,介质温度升高, $\delta^{18}\text{O}$ 值降低,地质时代越老, $\delta^{18}\text{O}$ 值越低。淡水相碳酸盐方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值一般较海相的低,变化范围也较大,与地质年代之间的关系也没有明显的规律性^[7],其原因是淡水的同位素值一般比海水轻。随着淡水淋滤作用的加强和埋藏作用的加深,碳酸盐矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 值降低。

苏里格地区奥陶系白云石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本上在上述现代海洋碳酸盐和多数古代碳酸盐台地的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围内^[8],说明碳来自原始沉积物中的 CaCO_3 ,没有受到地表植被或埋藏有机物质或碳水化合物的影响。

所研究的白云石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 平均值为 -7.34‰ ,较 Lohmann 统计的中奥陶世海相方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值略低^[8]。根据 Land 所引用的实验资料,在 25 °C 时白云石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较与之共生的方解石的高出 2%~4%^[9]。苏里格各地白云石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值不但不高于 Lohmann 统计的方解石,反而低,说明盆地中的白云石受到淡水淋滤和埋藏作用的影响。

根据取自 3 773.50~4 407.65 m 的 48 个样品分析,获得的白云石的 Fe, Sr, Mn 含量、Fe/Mn 比值、白云石有序度和 MgCO_3 含量见表 1。与现代碳酸盐沉积物相比,所研究的白云石具有较高的 Mn 和 Fe 含量,明显低的 Sr 含量^[10],这是由埋藏作用和淡水淋滤引起的^[11,12]。所研究的白云石都有高的 Fe/Mn 比值,这是大部分白云石具有暗的或无阴极发光的主要原因。

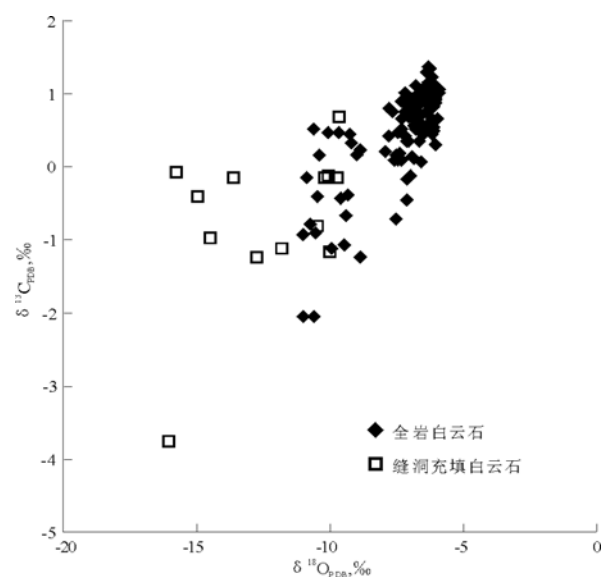


图 2 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系白云石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系
Fig. 2 Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of Ordovician dolomites in the Sulige area, the Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系白云石微量元素含量、有序度和 MgCO₃ 含量
Table 1 Trace elements concentration, order degree and MgCO₃ content of Ordovician dolomites in the Sulige area, the Ordos Basin

统计参数	最小值	最大值	均值
井深/m	3 774	4 408	3 990
Fe, 10 ⁻⁶	1 190	8 050	3 096(48)
Sr, 10 ⁻⁶	37.0	534.0	81.1(48)
Mn, 10 ⁻⁶	38.0	275.0	91.0(48)
Fe/Mn	14.94	175.00	45.15(48)
有序度	0.51	1.00	0.76(89)
MgCO ₃ , %	47.43	50.43	49.16(93)

注: 括号内为样品数。

准同生期或成岩早期所形成的白云石往往是无序的, 经过淡水淋滤, 其有序度可以提高^[4]。由于淡水淋滤强度的差异和淡水淋滤影响的非均质性, 白云石的有序度表现出差异。在奥陶纪末—中石炭世长达 148 Ma 的长期暴露过程中, 淡水的淋滤并没有从根本上改变白云石的有序度, 主要原因是白云岩的低孔、低渗妨碍了大气淡水的淋滤。

4.3 胶结作用

主要表现为晶间孔、粒间孔、粒内孔、砾石间孔中白云石和方解石的沉淀。也有少量自生粘土、硅质、黄铁矿和硫酸盐的沉淀。对于储层的破坏仅次于压实作用。

最早的胶结物出现于粒间孔或粒内孔中。胶结物成分为方解石或白云石, 结构呈纤状、晶簇状或粒状, 纤状胶结物往往为等厚环边。充填于溶孔中的白云石在阴极发光显微镜下可具环带结构(图 1J)。

充填于膏模孔的胶结物较上述胶结物晚。由于沉积物在同生期或稍后接受了大气淡水的淋滤, 形成了膏模孔。在浅埋藏阶段, 这些膏模孔可以充填方解石、白云石、石膏、石英或自生粘土。膏模孔中的充填物以方解石和白云石最为常见, 白云石也可发生去白云石化(图 1I)。

充填于砾石间孔和溶孔中的胶结物大部分发生得较晚, 在裸露期风化壳岩溶作用之后。当然也有少数发生得较早, 在同生期层间岩溶作用形成了一些溶蚀孔隙之后的早期成岩作用阶段, 部分溶孔即可能被胶结物充填。

根据 13 个样品分析结果, 白云石胶结物的 δ¹⁸O_{PDB} 值为 -16.00‰ ~ -9.62‰, 平均 -12.24‰; δ¹³C_{PDB} 值为 -3.75‰ ~ 0.69‰, 平均为 -0.73‰ (图 2)。总的来说, 白云石胶结物的 δ¹⁸O 和 δ¹³C

值较全岩白云石的低, 说明这些白云石胶结物形成于裸露期风化壳岩溶作用阶段淡水条件下, 且淡水溶解有沉积土壤带的有机质氧化形成的 CO₂。

4.4 交代作用

常见的交代作用是硅质交代白云石或方解石, 不很普遍。白云石化和去白云石化实际上也是一种交代作用。

4.5 溶蚀作用和岩溶作用

白云石 δ¹⁸O 值和 Sr 含量低说明马家沟组碳酸盐岩曾经受过淡水淋滤。溶蚀孔、缝的存在是溶蚀作用的直接证据。岩溶作用是溶蚀作用在碳酸盐岩地区的继续, 是在特殊地质条件下的一种大规模溶蚀作用。

古岩溶可分为表生成岩期古岩溶和埋藏成岩期古岩溶。前者进一步划分为同生期间岩溶和裸露期风化壳岩溶。后者进一步分为中—深埋藏期压释水岩溶和深埋藏期热水岩溶^[13]。苏里格地区奥陶系的古岩溶主要为裸露期风化壳岩溶。

4.6 去白云石化作用

即由白云石转变为方解石的作用。次生方解石在岩石中的含量少的在 1%~10% 之间, 多的到 50%, 甚至 90% 以上。去白云石化作用使得矿物的体积增加, 造成孔隙减少, 因此对储层是一种破坏性作用。

4.7 成岩作用演化

成岩作用共生序列总结于图 3。沉积作用发生于中奥陶世, 其后不久溶解、白云石化、干化脱水、机械压实、岩溶和充填作用等即发生。白云石

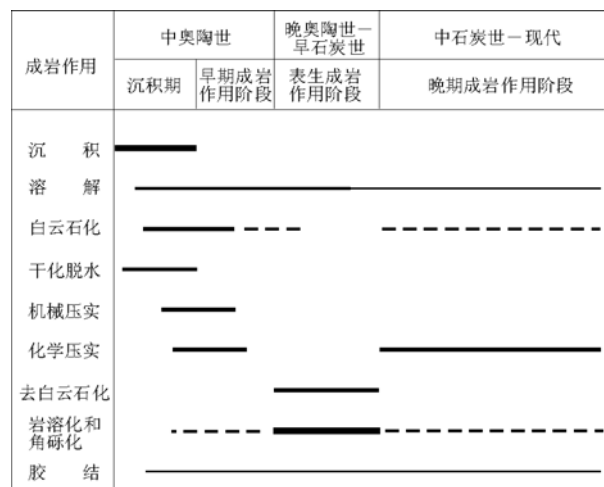


图 3 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系碳酸盐岩成岩作用序列
粗实线表示作用强, 细实线表示作用弱, 虚线表示作用很弱。

Fig. 3 Paragenetic sequence of Ordovician carbonates in the Sulige area, the Ordos Basin

化、溶解、岩溶作用对储层的改造是建设性的,压实、充填和去白云石化作用对储层的改造是破坏性的。

5 结论

苏里格地区奥陶系马家沟组沉积物(岩)经历的主要成岩作用有白云石化、溶蚀、岩溶、压实、胶结和去白云石化作用。其中,压实和胶结作用是对储层的主要破坏作用,白云石化、溶蚀和岩溶作用是对储层的主要建设作用。岩溶作用是建设储层的决定性作用。奥陶纪末—中石炭世的长期沉积间断是形成鄂尔多斯盆地及苏里格地区古岩溶储集岩的最重要的因素。

奥陶系储集岩以溶蚀孔隙为主。储层具有低孔、低渗和高非均质性的特点,这是因为岩溶作用强度不够和埋藏较深。

参考文献:

- 1 范嘉松. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 23~30
- 2 王宝清, 徐论勋, 李建华等. 古岩溶与储层研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 171
- 3 侯方浩, 方少仙, 董兆雄等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境与岩相发育特征[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 106~112
- 4 Wang B, Al-Aasm I S. Karst-controlled diagenesis and reser-

- voir development; Example from the Ordovician main-reservoir carbonate rocks on the eastern margin of the Ordos basin, China[J]. AAPG Bulletin, 2002, 89(9): 1639~1658
- 5 Loucks R G. Paleocave carbonate reservoirs; origins, burial-depth modifications, spatial complexity, and reservoir implications[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83 (11): 1795~1834
- 6 Enos P, Sawatsky L H. Pore networks in Holocene carbonate sediments[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1981, 51: 961~985
- 7 刘德良, 孙先如, 李振生等. 鄂尔多斯盆地奥陶系白云岩碳氧同位素分析[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 155~161
- 8 Lohmann K C. Geochemical patterns of meteoric diagenetic systems and their application to studies of paleokars[A]. In: James N P, Choquette P W, eds. Paleokarst[M]. New York: Springer-Verlag, 1988. 58~80
- 9 Land L S. The isotopic and trace element geochemistry of dolomite: The state of the art[A]. In: Zenger D H, Dunham J B, Ethington R L, eds. Concepts and models of dolomitization, SEPM Special Publication 28 [C], Tulsa, OK: SEPM, 1980. 87~110
- 10 Milliman J D. Recent sedimentary carbonates, Part 1 Marine carbonates[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1974. 375
- 11 Rao C P. Geochemistry of temperature-water carbonate, Tasmania, Australia[J]. Marine Geology, 1986, 71: 363~370
- 12 Rao C P. Petrography, trace elements and oxygen and carbon isotopes of Gordon Group carbonates (Ordovician), Florentine Valley, Tasmania, Australia [J]. Sedimentary Geology, 1990, 66: 83~97
- 13 侯方浩, 方少仙, 沈昭国等. 白云岩体表生成岩裸露期古风化壳岩溶的规模[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 19~30

DIAGENESIS OF ORDOVICIAN PALEO-KARST RESERVOIR IN THE SULIGE AREA, THE ORDOS BASIN

Wang Baoqing¹, Zhang Guisong²

(1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oil Field, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: The Sulige area is located to the northeast of the ancient central uplift in the Ordos Basin. The main sedimentary environments during Ordovician in the area include under-water uplift and inter-uplift depression as well as inner shelf basin. The Ordovician mainly consists of host carbonate rocks and karst breccias. Dissolution pores are the most important pores, and fractures are important reservoir spaces. Porosity ranges from 0.02% to 16.70%, averaging 2.19%. Permeability ranges from 0.0014×10^{-3} to $706.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, averaging $1.90 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Diagenesis, which the Ordovician carbonate sediments (rocks) have experienced, includes compaction, dolomitization, cementation, replacement, dissolution and dedolomitization. The slightly lower $\delta^{18}\text{O}$ values, higher concentration of Mn and Fe, and obviously lower concentration of Sr for dolomite of whole rocks indicate that the dolomite is influenced by meteoric leaching and burial diagenesis. The $\delta^{13}\text{C}$ values are not low since carbon comes from CaCO_3 of original sediments. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of dolomite cements are generally lower than those of dolomite of

(to be continued on page 528)

含油气系统,这已为 CDA-1 井在古新统一始新统砂岩中所获得的油气流所证实。因此,东部坳陷应该发育有 2 套含油气系统,具有 2 套勘探目的层,油气资源前景良好。

参考文献:

- 1 金庆煊,高天钧,周昌范等. 台湾海峡中、新生代地质构造及油气地质[M]. 福州:福建科学技术出版社,1993. 1~20
- 2 Chou Yingwei, Yu Hoshing. Structural expressions of flexural extension in the arc-continent collisional foredeep of western Taiwan [A]. In: Byrne T B, Liu Char-Shine, eds. Geology and geophysics of an arc-continent collision, Taiwan [M]. Boulder (Colorado): The Geological Society of American, Inc, 2002. 1~12
- 3 萧宝宗,林国安,罗仕荣等. 东引岛盆地油气潜能评估[J]. 台湾石油地质,1991,26(6):183~213
- 4 翁荣南,吴素慧. 台湾海域 K 地块油样品中类萜烷及类固醇之地化研究[J]. 台湾石油地质,1992,27(12):129~152
- 5 Chou T H, Kou C L, Lin L H, et al. Hydrocarbons in the Miocene formation of northern Taiwan: a geochemical approach [J]. Petro Geol Taiwan, 1987,23:115~137
- 6 翁荣南. 二维盆地模拟——台湾海域油气生成研究[J]. 台湾石油地质,2000,34(12): 33~54
- 7 俞何兴,陈汝勤. 台湾海域之沉积盆地[M]. 台北:渤海堂文化公司印行,1996. 77~88
- 8 Demaison G, Huizinga B J. Genetic classification of petroleum system[J]. AAPG Bulletin, 1991,75(10):1626~1643

PETROLEUM GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PETROLEUM SYSTEM OF TAIWAN STRAIT BASIN

Liu Zhenhu¹, Wang Yingmin², Deng Anxiong², Gao Hongfang¹

(1. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510760, China;
2. University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Taiwan Strait Basin is a Mesozoic-Cenozoic superimposed basin suited in Taiwan strait and its neighborhood. The study illustrated that mudstone of tidal flat-lagoon in Paleocene and Eocene, and coaly mudstone of paralic facies and marine mudstone in Miocene are main source rocks, and sandstones of lower tidal flat in Paleocene and Eocene and delta sandstone in Miocene are reservoir rocks, and mudstone of Miocene-Quaternary is seal rock. There is significant difference between eastern depression and western depression. The study of petroleum geology suggests that there are two petroleum systems of Paleogene and Miocene in this basin. There is mainly petroleum system of Paleogene in eastern part of this basin that has better potential of petroleum, and there is mainly petroleum system of Miocene in western part of this basin that has good potential of petroleum.

Key words: petroleum potential; petroleum system; petroleum geology; Taiwan Strait Basin; China

(continued from page 522)

whole rocks, suggesting that the dolomite cement is formed during karstification at epidiagenetic expose phase. The rocks have experienced early diagenesis, epidiagenesis and late diagenesis. Reservoir rocks are characterized with low porosity and permeability, due to weak karstification and deep burial.

Key words: diagenesis; paleo-karst; Ordovician; the Ordos Basin